



日 本 国 特 許 庁  
JAPAN PATENT OFFICE

PCT/JP 2004/010759

22. 7. 2004

別紙添付の書類に記載されている事項は下記の出願書類に記載されている事項と同一であることを証明する。

This is to certify that the annexed is a true copy of the following application as filed with this Office.

出 願 年 月 日  
Date of Application: 2 0 0 3 年 1 1 月 1 1 日

出 願 番 号  
Application Number: 特 願 2 0 0 3 - 3 8 1 2 9 4  
[ST. 10/C]: [ J P 2 0 0 3 - 3 8 1 2 9 4 ]

REC'D 10 SEP 2004

WIPO

PCT

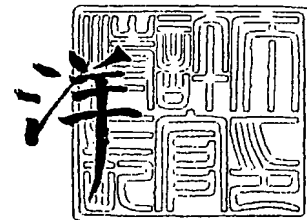
出 願 人  
Applicant(s): 松下電器産業株式会社

PRIORITY DOCUMENT  
SUBMITTED OR TRANSMITTED IN  
COMPLIANCE WITH  
RULE 17.1(a) OR (b)

2 0 0 4 年 8 月 2 7 日

特許庁長官  
Commissioner,  
Japan Patent Office

小 川



出証番号 出証特 2 0 0 4 - 3 0 7 6 7 9 0

【書類名】 特許願  
【整理番号】 2036450081  
【あて先】 特許庁長官 今井 康夫 殿  
【国際特許分類】 H01L 29/786  
H01L 51/00

【発明者】  
【住所又は居所】 大阪府門真市大字門真 1 0 0 6 番地 松下電器産業株式会社内  
【氏名】 竹内 孝之

【発明者】  
【住所又は居所】 大阪府門真市大字門真 1 0 0 6 番地 松下電器産業株式会社内  
【氏名】 七井 識成

【特許出願人】  
【識別番号】 000005821  
【氏名又は名称】 松下電器産業株式会社

【代理人】  
【識別番号】 100065868  
【弁理士】  
【氏名又は名称】 角田 嘉宏  
【電話番号】 078-321-8822

【選任した代理人】  
【識別番号】 100106242  
【弁理士】  
【氏名又は名称】 古川 安航  
【電話番号】 078-321-8822

【選任した代理人】  
【識別番号】 100110951  
【弁理士】  
【氏名又は名称】 西谷 俊男  
【電話番号】 078-321-8822

【選任した代理人】  
【識別番号】 100114834  
【弁理士】  
【氏名又は名称】 幅 慶司  
【電話番号】 078-321-8822

【手数料の表示】  
【予納台帳番号】 006220  
【納付金額】 21,000円

【提出物件の目録】  
【物件名】 特許請求の範囲 1  
【物件名】 明細書 1  
【物件名】 図面 1  
【物件名】 要約書 1  
【包括委任状番号】 0101410

## 【書類名】 特許請求の範囲

## 【請求項 1】

半導体層と、前記半導体層に相互に対向する辺を有するように分離して設けられたソース領域とドレイン領域とを有する薄膜トランジスタであって、

前記半導体層は  $\pi$  共役系有機半導体分子を主成分として有し、

前記  $\pi$  共役系有機半導体分子が、 $\pi$  軌道が実質的に対向するように配向され、かつ主鎖の分子軸が前記対向する辺に垂直な方向に対して傾斜して配向されている、薄膜トランジスタ。

## 【請求項 2】

前記半導体層の少なくとも一面にゲート絶縁層を介して設けられたゲート電極を有し、

前記ゲート電極に前記薄膜トランジスタの ON 時と同等の電圧が印加された状態における前記  $\pi$  共役系有機半導体分子の主鎖の分子軸方向の導電率が  $\sigma_1$  で、前記分子軸方向と垂直方向でかつ  $\pi$  軌道軸方向の導電率が  $\sigma_2$  であるとき、

前記  $\pi$  共役系有機半導体分子の主鎖の分子軸が、前記ソース領域と前記ドレイン領域との対向する辺に垂直な方向に対して (1) 式で算出される角度  $\theta$  傾いた方向を実質的な配向方向として配向されている、請求項 1 記載の薄膜トランジスタ。

$$\theta = \arctan(\sigma_2 / \sigma_1) \quad \dots (1)$$

## 【請求項 3】

前記  $\pi$  共役系有機半導体分子の主鎖の分子軸が前記半導体層の主面に実質的に平行な平面内に存在するように配向され、かつ該配向範囲が前記角度  $\theta \pm 10^\circ$  である、請求項 2 記載の薄膜トランジスタ。

## 【請求項 4】

前記  $\pi$  共役系有機半導体分子の主鎖の分子軸が前記半導体層の主面に実質的に平行な平面内に存在しないように配向され、かつ該配向範囲が前記角度  $\theta \pm 5^\circ$  である、請求項 2 記載の薄膜トランジスタ。

## 【請求項 5】

前記  $\pi$  共役系有機半導体分子が、チオフェン、アセチレン、ピロール、フェニレン、及びアセンの内の何れか、若しくは、これらを組み合わせた分子骨格を主鎖とする誘導体である、請求項 1 記載の薄膜トランジスタ。

## 【請求項 6】

前記  $\pi$  共役系有機半導体分子における各々の  $\pi$  軌道の延出方向が、全て同一ベクトル方向に統一されていない、請求項 5 記載の薄膜トランジスタ。

## 【請求項 7】

前記  $\pi$  共役系有機半導体分子が結晶質である、請求項 5 又は 6 記載の薄膜トランジスタ。

## 【請求項 8】

半導体層と、前記半導体層に相互に対向する辺を有するように分離して設けられたソース領域とドレイン領域とを有する薄膜トランジスタの製造方法であって、

前記半導体層に  $\pi$  共役系有機半導体分子を主成分として用い、


前記  $\pi$  共役系有機半導体分子を、 $\pi$  軌道が実質的に対向するように配向し、かつ主鎖の分子軸が前記対向する辺に垂直な方向に対して傾斜して配向する、薄膜トランジスタの製造方法。

## 【請求項 9】

前記半導体層の少なくとも一面にゲート絶縁層を介して設けられたゲート電極を有し、

前記ゲート電極に前記薄膜トランジスタの ON 時と同等の電圧が印加された状態における前記  $\pi$  共役系有機半導体分子の主鎖の分子軸方向の導電率が  $\sigma_1$  で、前記分子軸方向と垂直方向でかつ  $\pi$  軌道軸方向の導電率が  $\sigma_2$  であるとき、

前記  $\pi$  共役系有機半導体分子の主鎖の分子軸を、前記ソース領域と前記ドレイン領域との対向する辺に垂直な方向に対して (1) 式で算出される角度  $\theta$  傾いた方向を実質的な配向方向として配向する、請求項 8 記載の薄膜トランジスタの製造方法。


$$\theta = \arctan(\sigma_2 / \sigma_1) \quad \dots (1)$$

**【請求項 10】**

前記  $\pi$  共役系有機半導体分子の主鎖の分子軸を前記半導体層の主面に実質的に平行な平面内に存在するよう配向し、かつ該配向範囲を前記角度  $\theta \pm 10^\circ$  とする、請求項 9 記載の薄膜トランジスタの製造方法。

**【請求項 11】**

前記  $\pi$  共役系有機半導体分子の主鎖の分子軸を前記半導体層の主面に実質的に平行な平面内に存在しないように配向し、かつ該配向範囲を前記角度  $\theta \pm 5^\circ$  とする、請求項 9 記載の薄膜トランジスタの製造方法。

**【請求項 12】**

前記  $\pi$  共役系有機半導体分子として、チオフエン、アセチレン、ピロール、フェニレン、及びアセンの内の何れか、若しくは、これらを組み合わせた分子骨格を主鎖とする誘導体を用いる、請求項 8 記載の薄膜トランジスタの製造方法。

**【請求項 13】**

請求項 1 乃至 7 の何れかに記載の薄膜トランジスタが、画素を駆動するためのスイッチング素子として複数個配設されてなる、アクティブマトリクス型ディスプレイ。

**【請求項 14】**

請求項 1 乃至 7 の何れかに記載の薄膜トランジスタが、集積回路を構成するための半導体素子として利用されてなる、無線 ID タグ。

**【請求項 15】**

半導体層と、前記半導体層に相互に対向する辺を有するように分離して設けられたソース領域とドレイン領域とを有する薄膜トランジスタであって、

前記半導体層は  $\pi$  共役系有機半導体分子を主成分として有し、

前記  $\pi$  共役系有機半導体分子が、 $\pi$  軌道が実質的に対向するように配向され、かつ主鎖の分子軸が前記半導体層に形成されるチャネルにおける電界の方向に対して傾斜して配向されている、薄膜トランジスタ。

【書類名】明細書

【発明の名称】薄膜トランジスタ及びその製造方法

【技術分野】

【0001】

本発明は薄膜トランジスタ及びその製造方法に関し、特に、配向形成された $\pi$ 共役系有機半導体を半導体層として用いる薄膜トランジスタ及びその製造方法に関する。

【背景技術】

【0002】

現在、薄膜トランジスタ（以下、TFTという）は、アクティブマトリクス型の液晶ディスプレイ等における駆動素子として好適に使用されている。このTFTの構成としては種々の構成が提案されているが、基本的には、半導体層に接触して設けられたソース電極とドレイン電極との間に流れる電流を、半導体層に対して絶縁層を介して設けられたゲート電極に印加される電圧（つまり、印加される電圧で発生する電界）により制御するように構成されている。そして、TFTを構成する前記半導体層に関し、現在実用化されている半導体材料としては、結晶シリコンと比して特性面では劣るものの、比較的安価であるアモルファスシリコンや低温ポリシリコン等といった半導体材料がある。又、ゲート電極が設けられる前記絶縁層に関し、現在実用化されている絶縁材料としては、酸化シリコンや窒化シリコン等がある。しかし、これらの半導体材料及び絶縁材料を用いるTFTの製造プロセスでは、プラズマCVD法等の大規模な装置や、精密加工のための薄膜制御装置を必要とする。そのため、TFTの製造コストは高コスト化する。又、前記製造プロセスは、一般に、350℃を越えるような処理温度のプロセスを含むため、使用可能な基板材料等には制限がある。

【0003】

ところで、近年では、TFT用として利用可能な半導体材料として、有機化合物で構成される有機物半導体が注目されている。この有機物半導体は、前述したアモルファスシリコンや低温ポリシリコン等の無機系の半導体を用いる場合と比べて、低コストプロセスでありかつ低温プロセスであるスピンコーティング、インクジェット印刷、及び浸漬コーティング等の製造プロセスによって前記半導体層を形成することが可能である。そのため、TFTの製造コストを低コスト化することが可能であり、又、使用可能な基板材料等に関する制限が解消される。又、前述した低コストプロセスや低温プロセスが適用可能であることにより、フレキシブルな基板上や大面積な基板へのTFT形成が実現でき、これによって大画面ディスプレイやシートライク、或いはペーパーライクなディスプレイ、又は無線IDタグ等への用途拡大が期待されている。しかしながら、現在報告されている有機物半導体は、そのキャリア移動度が前記無機系半導体と比して低い。そのため、アモルファスシリコン並のキャリア移動度を実現するために、種々の取り組みがなされている。

【0004】

有機物半導体の内、 $\pi$ 共役系の有機物半導体は、 $\pi$ 共役二重結合を有する分子骨格からなる有機化合物で構成されている。そして、前記 $\pi$ 共役二重結合における $\pi$ 軌道の重なりによって生じる荷電子帯と伝導帯、及びそれらの間のバンドギャップによって、半導体特性が得られると考えられている。ところで、 $\pi$ 共役系有機半導体分子を寄せ集めて集合体を形成した場合、電気伝導の容易さは、その容易さの上位から、分子内の主鎖方向に沿った電気伝導、隣り合う分子同士の $\pi$ 軌道の重なりを利用した電気伝導、分子間の電子のホッピングによる電気伝導の順となる。従って、 $\pi$ 共役系有機半導体分子においてキャリア移動度を向上させるためには、如何に前記電気伝導の容易さの内で上位の電気伝導を有効に利用できる構成にするかが問題となる。そして、前記分子間の電子のホッピングによる電気伝導をより少なくする方法としては、従来から、分子を一定の方向に配向制御する方法が採られてきた。より具体的な配向方法としては、ポリシラン薄膜をラングミュア・ブロッジェット法（LB法）や、延伸法を用いて配向させる方法が開示されている（例えば、特許文献1参照）。又、基板上にポリテトラフルオロエチレンを一定圧力で押し付けスライドさせて配向形成し、その配向形成したポリテトラフルオロエチレンの膜の上面に

オリゴチオフェン化合物を接触させることで配向成膜する方法が開示されている（例えば、特許文献2参照）。又、 $\pi$ 共役系オリゴマー分子を、ホット・ウォール・エピタキシー法を用いて配向成長させる方法も開示されている（例えば、特許文献3参照）。これらの配向方法を用いることによって、前記分子間の電子のホッピングによる電気伝導を限りなく少なくすることが可能となる。

#### 【0005】

又、更なるキャリア移動度の改善方法としては、 $\pi$ 共役系有機半導体分子の配向方向をTFTのソース電極とドレイン電極とを結ぶ垂線に対して平行になるように制御し、これによって前記分子内の主鎖方向に沿った電気伝導を有効に利用しようという方法や（例えば、特許文献1及び4参照）、 $\pi$ 共役系有機半導体分子の配向方向をTFTのソース電極とドレイン電極とを結ぶ垂線に対して垂直になるように制御し、これによって前記隣り合う分子同士の $\pi$ 軌道の重なりを利用した電気伝導を有効に利用しようという方法等も提案されている（例えば、特許文献5参照）。

【特許文献1】特開平5-275695公報

【特許文献2】特開平7-206599公報

【特許文献3】特開2002-270621公報

【特許文献4】特表2003-502874公報

【特許文献5】特開平9-116163公報

#### 【発明の開示】

#### 【発明が解決しようとする課題】

#### 【0006】

ところで、 $\pi$ 共役系有機半導体分子の配向方向をTFTのソース電極とドレイン電極とを結ぶ直線に対して平行になるように制御し、これによって $\pi$ 共役系有機半導体分子の主鎖方向に沿った電気伝導を利用して高キャリア移動度を実現しようとする方法においては、 $\pi$ 共役系有機半導体分子の主鎖の分子長と比してソース電極とドレイン電極との間の距離が長くなってくると、その距離の増大に伴って $\pi$ 共役系有機半導体分子間における電子の移動回数が次第に多くなってくる。そして、この場合、ソース電極とドレイン電極とを結ぶ垂線に対して垂直方向に隣り合う $\pi$ 共役系有機半導体分子間における電子の移動は、ソース電極とドレイン電極との間の電界が形成されている方向と直交する方向に電子が移動しなければならないため、非常に困難となる。つまり、ソース電極とドレイン電極との間の距離と比較して非常に長い分子長を有する $\pi$ 共役系有機半導体分子を用いる場合や、 $\pi$ 共役系有機半導体分子の分子長と比較してソース電極とドレイン電極との間の距離が十分に狭い場合を除いて、 $\pi$ 共役系有機半導体分子の配向方向をTFTのソース電極とドレイン電極とを結ぶ垂線に対して平行になるように制御しても、十分なキャリア移動度を得ることはできない。

#### 【0007】

又、 $\pi$ 共役系有機半導体分子の配向方向をTFTのソース電極とドレイン電極とを結ぶ垂線に対して垂直になるように制御し、これによって隣り合う $\pi$ 共役系有機半導体分子同士の $\pi$ 軌道の重なりを利用して高キャリア移動度を実現しようとする方法においては、 $\pi$ 共役系有機半導体分子の主鎖の長手方向はソース電極とドレイン電極とを結ぶ垂線に垂直に並んでおり、これによって $\pi$ 共役系有機半導体分子内の主鎖方向に沿った電気伝導は寄与せず、殆ど $\pi$ 共役系有機半導体分子間の $\pi$ 軌道の重なりを利用する電気伝導が支配的となる。そのため、ソース電極とドレイン電極との間の距離が増大すると、その距離の増大に比例して電子の移動回数が多くなる。つまり、 $\pi$ 共役系有機半導体分子の配向方向をTFTのソース電極とドレイン電極とを結ぶ垂線に対して垂直になるように制御し、かつ配向度を上げて、キャリアの移動度の改善には限界がある。

#### 【0008】

本発明は、上記課題を解決するためになされたものであり、 $\pi$ 共役系有機半導体分子を所定方向に配向形成して構成したキャリア移動度が改善されたTFTと、そのTFTの製造方法を提供することを第1の目的としている。又、本発明は、キャリア移動度が改善

されたTFTを複数個配置したアクティブマトリクス型のディスプレイや、前記キャリア移動度が改善されたTFTを集積回路部に用いた無線IDタグを提供することを第2の目的としている。

【課題を解決するための手段】

【0009】

本発明は上記課題を解決するためになされたもので、本発明に係るTFTは、半導体層と、前記半導体層に平面視において相互に対向する辺を有するように分離して設けられたソース領域とドレイン領域とを有する薄膜トランジスタであって、前記半導体層は $\pi$ 共役系有機半導体分子を主成分として有し、前記 $\pi$ 共役系有機半導体分子が、 $\pi$ 軌道が実質的に対向するように配向され、かつ主鎖の分子軸が前記対向する辺に垂直な方向に対して傾斜して配向されている構成を採る（請求項1）。ここで、本明細書において、ソース領域及びドレイン領域とは、ソース電極及びドレイン電極、並びに、ソース電極及びドレイン電極を半導体層に接続するコンタクト層又は高濃度不純物領域（層）等を含む概念をいう。かかる構成により、 $\pi$ 共役系有機半導体分子の主鎖の分子軸がソース領域とドレイン領域との対向する辺に垂直な方向に対して傾斜して配向されているので、 $\pi$ 共役系有機半導体分子内での主鎖方向に沿った伝導がソース領域とドレイン領域との間の電荷移動において有効に活用される。又、隣り合う $\pi$ 共役系有機半導体分子同士の $\pi$ 軌道がソース領域からドレイン領域へ方向において対向するように形成されており、従って分子間の電荷の移動はホッピングではなく電界の掛かっているソース領域からドレイン領域の方向への $\pi$ 軌道の重なりを利用した電荷移動が主となる。そのため、キャリア移動度の高いTFTを実現することができるとする。

【0010】

この場合、前記半導体層の少なくとも一面にゲート絶縁層を介して設けられたゲート電極を有し、前記ゲート電極に前記薄膜トランジスタのON時と同等の電圧が印加された状態における前記 $\pi$ 共役系有機半導体分子の主鎖の分子軸方向の導電率が $\sigma_1$ で、前記分子軸方向と垂直方向でかつ $\pi$ 軌道軸方向の導電率が $\sigma_2$ であるとき、前記 $\pi$ 共役系有機半導体分子の主鎖の分子軸が、前記ソース領域と前記ドレイン領域との対向する辺に垂直な方向に対して（1）式で算出される角度 $\theta$ 傾いた方向を実質的な配向方向として配向されている構成を採ることが好ましい（請求項2）。かかる構成により、薄膜トランジスタのON時の状態において最も導電率の高くなる方向を基準にしてソース領域及びドレイン領域が形成されることになるので、より一層キャリア移動度の高いTFTを実現することができるとする。

【0011】

$$\theta = \arctan(\sigma_2 / \sigma_1) \quad \dots (1)$$

又、本発明は、前記 $\pi$ 共役系有機半導体分子の主鎖の分子軸が前記半導体層の主面に実質的に平行な平面内に存在するように配向され、かつ該配向範囲が前記角度 $\theta \pm 10^\circ$ なる構成を採ることが好ましい（請求項3）。かかる構成により、 $\pi$ 共役系有機半導体分子の主鎖の分子軸が半導体層の主面に実質的に平行な平面内に配向可能な材料について、キャリア移動度の高いTFTを実現することができるとする。

【0012】

又、本発明は、前記 $\pi$ 共役系有機半導体分子の主鎖の分子軸が前記半導体層の主面に実質的に平行な平面内に存在しないように配向され、かつ該配向範囲が前記角度 $\theta \pm 5^\circ$ なる構成を採ることが好ましい（請求項4）。かかる構成により、 $\pi$ 共役系有機半導体分子の主鎖の分子軸が半導体層の主面に実質的に平行な平面に対して所定の角度をもって配向可能な材料について、キャリア移動度の高いTFTを実現することができるとする。

【0013】

又、本発明は、前記 $\pi$ 共役系有機半導体分子が、チオフェン、アセチレン、ピロール、フェニレン、及びアセンの内の何れか、若しくは、これらを組み合わせた分子骨格を主鎖とする誘導体である構成を採る（請求項5）。かかる構成により、キャリア移動度の優れた $\pi$ 共役系の電荷移動が実現できるとする。

## 【0014】

又、本発明は、前記 $\pi$ 共役系有機半導体分子における各々の $\pi$ 軌道の延出方向が、全て同一ベクトル方向に統一されていない構成を採ることが好ましい（請求項6）。かかる構成により、1つの $\pi$ 共役系有機半導体分子中において $\pi$ 軌道の延出方向が全て同一ベクトル方向に統一されていないので、主鎖の分子軸の方向を揃えることにより、隣り合う $\pi$ 共役系有機半導体分子同士の $\pi$ 軌道が容易に対向するようにできるとする。

## 【0015】

又、本発明は、前記 $\pi$ 共役系有機半導体分子が結晶質である構成を採ることがより好ましい（請求項7）。かかる構成により、 $\pi$ 共役系有機半導体分子の配向度を、非晶質の分子を用いる場合よりも高めることができるので、より一層キャリア移動度の高いTF Tを実現することができるとする。

## 【0016】

又、本発明に係るTF Tの製造方法は、半導体層と、前記半導体層に平面視において相互に対向する辺を有するように分離して設けられたソース領域とドレイン領域とを有する薄膜トランジスタの製造方法であって、前記半導体層に $\pi$ 共役系有機半導体分子を主成分として用い、前記 $\pi$ 共役系有機半導体分子を、 $\pi$ 軌道が実質的に対向するように配向し、かつ主鎖の分子軸が前記対向する辺に垂直な方向に対して傾斜して配向する構成を採る（請求項8）。かかる構成により、 $\pi$ 共役系有機半導体分子の主鎖の分子軸がソース領域とドレイン領域との対向する辺に垂直な方向に対して傾斜して配向されているので、 $\pi$ 共役系有機半導体分子内での主鎖方向に沿った伝導がソース領域とドレイン領域との間の電荷移動において有効に活用されたとする。又、隣り合う $\pi$ 共役系有機半導体分子同士の $\pi$ 軌道がソース領域からドレイン領域へ方向において対向するように形成されており、従って分子間の電荷の移動はホッピングではなく電界の掛かっているソース領域からドレイン領域の方向への $\pi$ 軌道の重なりを利用した電荷移動が主となる。そのため、キャリア移動度の高いTF Tを製造することができるとする。

## 【0017】

この場合、前記半導体層の少なくとも一面にゲート絶縁層を介して設けられたゲート電極を有し、前記ゲート電極に前記薄膜トランジスタのON時と同等の電圧が印加された状態における前記 $\pi$ 共役系有機半導体分子の主鎖の分子軸方向の導電率が $\sigma_1$ で、前記分子軸方向と垂直方向でかつ $\pi$ 軌道軸方向の導電率が $\sigma_2$ であるとき、前記 $\pi$ 共役系有機半導体分子の主鎖の分子軸を、前記ソース領域と前記ドレイン領域との対向する辺に垂直な方向に対して（1）式で算出される角度 $\theta$ 傾いた方向を実質的な配向方向として配向する構成を採ることが好ましい（請求項9）。かかる構成により、薄膜トランジスタのON時の状態において最も導電率の高くなる方向を基準にしてソース領域及びドレイン領域が形成されることになるので、より一層キャリア移動度の高いTF Tを製造することができるとする。

## 【0018】

$$\theta = \arctan (\sigma_2 / \sigma_1) \quad \cdots (1)$$

又、本発明は、前記 $\pi$ 共役系有機半導体分子の主鎖の分子軸を前記半導体層の主面に実質的に平行な平面内に存在するよう配向し、かつ該配向範囲を前記角度 $\theta \pm 10^\circ$ なる構成を採ることが好ましい（請求項10）。かかる構成により、 $\pi$ 共役系有機半導体分子の主鎖の分子軸が半導体層の主面に実質的に平行な平面内に配向可能な材料について、キャリア移動度の高いTF Tを製造することができるとする。

## 【0019】

又、本発明は、前記 $\pi$ 共役系有機半導体分子の主鎖の分子軸を前記半導体層の主面に実質的に平行な平面内に存在しないように配向し、かつ該配向範囲を前記角度 $\theta \pm 5^\circ$ なる構成を採ることが好ましい（請求項11）。かかる構成により、 $\pi$ 共役系有機半導体分子の主鎖の分子軸が半導体層の主面に実質的に平行な平面に対して所定の角度をもって配向可能な材料について、キャリア移動度の高いTF Tを製造することができるとする。

## 【0020】



又、本発明は、前記  $\pi$  共役系有機半導体分子として、チオフェン、アセチレン、ピロール、フェニレン、及びアセンの内の何れか、若しくは、これらを組み合わせた分子骨格を主鎖とする誘導体を用いる構成を採る（請求項 12）。かかる構成により、キャリア移動度の優れた  $\pi$  共役系の電荷移動が実現できるとする。

#### 【0021】

又、本発明に係る薄膜トランジスタを用いたアクティブマトリクス型ディスプレイは、請求項 1 乃至 7 の何れかに記載の薄膜トランジスタが、画素を駆動するためのスイッチング素子として複数個配設されてなる構成を採る（請求項 13）。かかる構成により、低コストで特性の良いシートライク、或いはペーパーライクなディスプレイを具現化することができるとする。

#### 【0022】

又、本発明に係る薄膜トランジスタを用いた無線 ID タグは、請求項 1 乃至 7 の何れかに記載の薄膜トランジスタが、集積回路を構成するための半導体素子として利用されてなる構成を採る（請求項 14）。かかる構成により、無線 ID タグを様々な形状の物体、或いは素材へ貼り付けることができるとする。又、任意の形状に形成可能な無線 ID タグを具現化することができるとする。

#### 【0023】

又、本発明に係る TFT は、半導体層と、前記半導体層に平面視において相互に対向する辺を有するように分離して設けられたソース領域とドレイン領域とを有する薄膜トランジスタであって、前記半導体層は  $\pi$  共役系有機半導体分子を主成分として有し、前記  $\pi$  共役系有機半導体分子が、 $\pi$  軌道が実質的に対向するように配向され、かつ主鎖の分子軸が前記半導体層に形成されるチャネルにおける電界の方向に対して傾斜して配向されている構成を採る（請求項 15）。かかる構成により、 $\pi$  共役系有機半導体分子内での主鎖方向に沿った電荷移動と、電界の掛かっているソース領域からドレイン領域の方向への  $\pi$  軌道の重なりを利用した電荷移動とが有効に活用されるので、キャリア移動度の高い TFT を実現することができるとする。

#### 【発明の効果】

#### 【0024】

本発明は以上に述べたような構成を有し、 $\pi$  共役系有機半導体分子を所定の方に配向形成して構成したキャリア移動度が改善された TFT と、その製造方法を提供することができると共に、キャリア移動度が改善された TFT を複数個配置したアクティブマトリクス型のディスプレイや、前記キャリア移動度が改善された TFT を集積回路部に用いた無線 ID タグ等を提供することができるという効果を奏する。

#### 【発明を実施するための最良の形態】

#### 【0025】

以下、本発明を実施するための最良の形態について、図面を参照しながら説明する。

#### 【0026】

##### （実施の形態 1）

本発明の実施の形態 1 では、TFT の半導体層を構成する  $\pi$  共役系有機半導体分子として、オリゴチオフェン誘導体を用いる場合について説明する。

#### 【0027】

図 1 は、TFT の代表的な構成の各々を模式的に示す断面図である。

#### 【0028】

図 1 (a) ~ 図 1 (d) に示すように、本実施の形態に係る TFT 100 の構成としては、様々な構成が考えられている。ここで、一般に、図 1 (a) 及び図 1 (b) は、ボトムゲート方式と呼ばれている。又、図 1 (c) 及び図 1 (d) は、トップゲート方式と呼ばれている。尚、本発明によって得られる効果は、半導体層に用いる  $\pi$  共役系有機半導体分子の配向方向をソース電極とドレイン電極との配置に対して適当な方向に制御することによって得られるものであるため、TFT 自体の構成は図 1 に示した何れの構成でも良く、即ち、何れかの構成に限定されるものではない。従って、以降の説明では、TFT 100

0 の構成の代表例として、図 1 (c) に示す構成を用いた場合について説明する。

#### 【0029】

図 1 (c) に示すように、トップゲート方式が採用された TFT100 は、基板 11 と、 $\pi$  共役系有機半導体分子からなる半導体層 14 と、ソース電極 15 と、ドレイン電極 16 と、ゲート絶縁層 13 と、ゲート電極 12 とを有している。具体的には、基板 11 の主面上に半導体層 14 が設けられており、この半導体層 14 の上に、ソース電極 15 及びドレイン電極 16 が、互いに分離するように設けられている。又、このソース電極 15 及びドレイン電極 16 と、半導体層 14 の露出面とを覆うように、ゲート絶縁層 13 が設けられている。そして、このゲート絶縁層 13 の上に、平面視において少なくともソース電極 15 とドレイン電極 16 との間に位置するように、ゲート電極 12 が設けられている。このように、図 1 (c) に示すトップゲート方式が採用された TFT100 は、基板 11 上に半導体層 14、ソース電極 15 及びドレイン電極 16、ゲート絶縁層 13 が積層され、このゲート絶縁層 13 の上にゲート電極 12 が配設された構成を有している。

#### 【0030】

上記構成を有する TFT100 を製造する場合、先ず、所定の溶媒に溶解・分散させた  $\pi$  共役系有機半導体分子を、予め所望の配向方向に平行に溝を形成した基板 11 上に塗布する。そして、その  $\pi$  共役系有機半導体分子が塗布された基板 11 を十分に乾燥させることにより、基板 11 上に  $\pi$  共役系有機半導体分子からなる半導体層 14 を配向成膜する。次に、 $\pi$  共役系有機半導体分子からなる半導体層 14 上にソース電極 15 とドレイン電極 16 とを形成するために、所定の電極材料を、所望の形状が得られるように予めパターニングされたスクリーン版を用いることによって印刷した後、十分に乾燥させる。これによって、半導体層 14 上には、所望の形状のソース電極 15 及びドレイン電極 16 が形成される。その後、ゲート絶縁層 13 を形成するために、所定の絶縁材料を予めパターニングされたスクリーン版を用いることによってソース電極 15、ドレイン電極 16、及び半導体層 14 上に印刷した後、十分に乾燥させる。これにより、半導体層 14、ソース電極 15 及びドレイン電極 16 上には、所望の形状のゲート絶縁層 13 が形成される。そして、最後に、ゲート絶縁層 13 上にゲート電極 12 を形成するために、上記と同様にして、所定の電極材料を、所望の形状が得られるように予めパターニングされたスクリーン版を用いることによって印刷した後、これを十分に乾燥させる。これによって、ゲート絶縁層 13 上には所望の形状のゲート電極 12 が形成される。このように、TFT100 は、基板 11 上に半導体層 14、ソース電極 15 及びドレイン電極 16、ゲート絶縁層 13、及びゲート電極 12 の各々がスクリーン版を用いる印刷法によって印刷され、その後十分に乾燥されることによって形成される。

#### 【0031】

##### (実施例 1)

本実施例における TFT100 では、基板 11 を構成する材料としては、ポリエチレン系のプラスチック基板を用いた。又、半導体層 14 を構成する材料としては、 $\pi$  共役系有機半導体分子の内の 1 つであるオリゴチオフエン誘導体分子を用いた。又、ソース電極 15、ドレイン電極 16、及びゲート電極 12 を構成する材料としては、ポリ 3, 4-エチレンジオキシチオフエン（以下、PEDOT という）を主成分とする電極材料を用いた。更に、ゲート絶縁層 13 を構成する材料としては、ポリビニルフェノールを用いた。

#### 【0032】

先ず、半導体層 14 に用いる  $\pi$  共役系有機半導体分子であるオリゴチオフエン誘導体分子について詳細に説明する。

#### 【0033】

図 2 は、半導体層 14 に用いる  $\pi$  共役系有機半導体分子であるオリゴチオフエン誘導体分子の構造を示す図である。ここで、図 2 (a) はオリゴチオフエン誘導体分子の化学構造式を示し、図 2 (b) はオリゴチオフエン誘導体分子における  $\sigma$  結合及び  $\pi$  電子雲の様子を示し、図 2 (c) はオリゴチオフエン誘導体分子を模式的に示す斜視図である。尚、図 2 (a) において、オリゴチオフエン誘導体分子の主鎖の末端の化学構造は、その記載

を省略している。

#### 【0034】

図2(a)に示すように、オリゴチオフエン誘導体分子の主鎖においては、硫黄原子(S)を含み二重結合を有する五員環が $\sigma$ 結合により繰り返し結合して構成される $\pi$ 共役系が発達している。尚、図2(a)では、水素原子は明示していない。この時、分子軌道法等の手段を用いて電子状態を計算すると、二重結合の内の $\pi$ 結合に利用される $\pi$ 電子の電子雲の存在範囲を求めることができる。即ち、図2(b)に示すように、このオリゴチオフエン誘導体分子では、炭素原子21と硫黄原子22とで構成される各五員環面に対して垂直方向に $\pi$ 電子雲23が存在している。尚、このオリゴチオフエン誘導体分子では、各五員環同士は同一平面内に存在するのではなく、各五員環同士が $\sigma$ 結合により多少ねじれて結合しているため、 $\pi$ 電子雲23の存在方向を示すベクトルは、一定の方向に統一されていない。そして、本実施例では、実際には、オリゴチオフエン分子の主鎖の末端を所定の置換基で化学修飾したオリゴチオフエン誘導体分子を用いている。具体的には、図2(a)に示すように硫黄原子を含む8個の五員環を有し、かつ主鎖の両末端をアルキル基(例えば、 $-\text{C}_{10}\text{H}_{21}$ )で化学修飾したオリゴチオフエン誘導体分子を用いている。

#### 【0035】

次に、本発明を特徴付けるオリゴチオフエン誘導体分子の配向角度に関する検討方法と、その検討結果について説明する。尚、以降の説明では、オリゴチオフエン誘導体分子の1分子を図2(c)に示すように短冊状の四角形で表すこととする。又、 $\pi$ 電子雲はその存在方向を示すベクトルが実際には全て統一されている訳ではないが、実質的にこの四角形平面に対して垂直な方向に存在するものと仮定する。

#### 【0036】

図3は、前述した製造方法によって得られた半導体層40におけるオリゴチオフエン誘導体分子40aの配向状態を模式的に示す斜視図である。ここで、図3においては、XY軸によって形成される平面は半導体層40の主面と平行な平面を表しており、Z軸方向は半導体層40の厚み方向を示している。

#### 【0037】

図3において、オリゴチオフエン誘導体分子40aは、その主鎖の分子軸がY軸方向と平行になるように配向されており、かつ、各々の分子面を表す四角形がYZ軸で形成される平面に平行となるように配置されている。つまり、半導体層40は、Y軸方向及びZ軸方向を除く方向、即ちX軸方向において、隣り合うオリゴチオフエン誘導体分子同士の $\pi$ 軌道が対向するように構成されている。

#### 【0038】

このように配向形成された半導体層40を用いて、図4に示すように、オリゴチオフエン誘導体分子40aの配向方向であるY軸方向に対して各々矩形形状を有するソース電極及びドレイン電極の対向する辺同士に共通するその垂線10を $10^\circ$ ずつ傾けたTF T100を各々作製した。即ち、オリゴチオフエン誘導体分子40aの各々を、その $\pi$ 軌道が実質的に対向するように配向し、かつその主鎖の分子軸をソース電極とドレイン電極との対向する辺に垂直な方向に対して $10^\circ$ ずつ傾斜するように各々配向した。ここで、この作製された各々のTF T100は、プラスチック基板41と、図4の半導体層40で構成された半導体層42と、ソース電極43と、ドレイン電極44と、絶縁層45と、ゲート電極46とを有して構成されている。尚、矢印47は、半導体層40における図4では図示しないオリゴチオフエン誘導体分子の配向方向を示している。

#### 【0039】

以上のようにして準備された各々の測定サンプルについて、ゲート電極に種々のゲート電圧を印加した場合のI-V特性を測定することによって、TF T100のキャリア移動度を求めた。又、ソース電極43とドレイン電極44との対向する辺の垂線10と、オリゴチオフエン誘導体分子40aの主鎖の分子軸とのなす角(配向角度)が $0^\circ$ である場合のソース電極-ドレイン電極間の導電率(即ち、 $\pi$ 共役系有機半導体分子の主鎖の分子軸に代表される方向の導電率 $\sigma_1$ に相当)と、同じく $90^\circ$ である場合の導電率(即ち、配

向方向と垂直方向で、かつ $\pi$ 電子雲存在方向の導電率 $\sigma_2$ に相当)とを求め、こられの導電率の値を(1)式に代入することによって $\theta$ を算出した。ここで、式(1)における「 $\arctan$ 」は、逆正接 $\tan^{-1}$ を意味する。

【0040】

$$\theta = \arctan(\sigma_2 / \sigma_1) \quad \dots (1)$$

図5は、種々のゲート電圧を印加した場合におけるオリゴチオフエン誘導体分子の配向角度を変化させた際のキャリア移動度の変化を測定した結果を表すグラフである。ここで、図5(a)はゲート電圧が20Vである場合の測定結果を示し、図5(b)はゲート電圧が30Vである場合の測定結果を示し、図5(c)はゲート電圧が40Vである場合の測定結果を示している。尚、図5において、横軸はオリゴチオフエン誘導体分子の主鎖の分子軸と、ソース電極とドレイン電極との対向する辺の垂線とのなす角( $^{\circ}$ )を示し、縦軸はキャリア移動度( $\text{cm}^2/\text{Vs}$ )を示している。

【0041】

図5(a)に示すように、ゲート電圧が20Vである場合には、導電率 $\sigma_1$ は $7.7 \times 10^{-3} \text{ S/m}$ であり、導電率 $\sigma_2$ は $1.9 \times 10^{-3} \text{ S/m}$ であった。又、キャリア移動度については、オリゴチオフエン誘導体分子の配向角度が $0^{\circ}$ より大きくなるに従って向上するが、前記式(1)で求められる $\theta = 14^{\circ}$ 近傍を超えると徐々に低下し、配向角度が $90^{\circ}$ では最も低いキャリア移動度となった。

【0042】

又、図5(b)に示すように、ゲート電圧が30Vである場合には、導電率 $\sigma_1$ は $9.2 \times 10^{-3} \text{ S/m}$ であり、導電率 $\sigma_2$ は $3.9 \times 10^{-3} \text{ S/m}$ であった。又、キャリア移動度については、ゲート電圧が20Vである場合と同様に、オリゴチオフエン誘導体分子の配向角度が $0^{\circ}$ より大きくなるに従って向上するが、前記式(1)で求められる $\theta = 23^{\circ}$ 近傍を超えると徐々に低下し、配向角度が $90^{\circ}$ では最も低いキャリア移動度となった。

【0043】

更に、図5(c)に示すように、ゲート電圧が40Vである場合には、導電率 $\sigma_1$ は $1.0 \times 10^{-3} \text{ S/m}$ であり、導電率 $\sigma_2$ は $5.4 \times 10^{-3} \text{ S/m}$ であった。又、キャリア移動度については、ゲート電圧が20V及び30Vである場合と同様に、オリゴチオフエン誘導体分子の配向角度が $0^{\circ}$ より大きくなるに従って向上するが、前記式(1)で求められる $\theta = 28^{\circ}$ 近傍を超えると徐々に低下し、配向角度が $90^{\circ}$ では最も低いキャリア移動度となった。

【0044】

このように、オリゴチオフエン誘導体分子の配向角度が $90^{\circ}$ の場合、即ち、オリゴチオフエン誘導体分子の主鎖の分子軸がソース電極とドレイン電極との対向する辺に垂直な方向に対して垂直である場合には、キャリア移動度が最も低下することが判明した。又、図5(a)～図5(c)において斜線で示した領域におけるキャリア移動度は、オリゴチオフエン誘導体分子の配向角度が $0^{\circ}$ の場合、即ち、オリゴチオフエン誘導体分子がソース電極からドレイン電極へ方向において隣り合う分子同士の $\pi$ 軌道が対向するように形成されていない場合に比べて改善していることが分かった。更に、最高のキャリア移動度を得られる配向角度は、配向角度が $0^{\circ}$ である場合の導電率 $\sigma_1$ と、配向角度が $90^{\circ}$ である場合の導電率 $\sigma_2$ とを用いて式(1)によって計算される $\theta$ の近傍であることが分かった。そして、オリゴチオフエン誘導体分子の好ましい配向角度の範囲について更に調査した結果、図5(a)～図5(c)に示すように、式(1)によって算出される $\theta$ を中心として $\pm 10^{\circ}$ の範囲が最も好適であることが判明した。

【0045】

更に、本実施例では、半導体層40に用いるオリゴチオフエン誘導体分子として、6個の五員環を有し、かつ、両方の末端をアルキル基(例えば、 $-\text{C}_{10}\text{H}_{21}$ )で修飾したオリゴチオフエン誘導体分子についても、同様の測定サンプルを作製し測定を行った。その測定の結果を、図6に示す。ここで、図6に示す測定結果は、ゲート電圧が30Vである場

合についての測定結果を示している。尚、図 6 における横軸と縦軸とは、図 5 の場合と同様である。

#### 【0046】

図 6 に示すように、6 個の五員環を有し末端が前記化学修飾されたオリゴチオフエン誘導体分子を用いた場合には、オリゴチオフエン誘導体分子の配向角度が  $0^\circ$  である場合と  $90^\circ$  である場合とのキャリア移動度は概ね等しく、その他の配向角度におけるキャリア移動度は、前記  $0^\circ$  及び前記  $90^\circ$  の場合のキャリア移動度に対して改善されていることが分かった。又、前記 8 個の五員環を有するオリゴチオフエン誘導体分子を用いる場合と同様に、配向角度が  $0^\circ$  である場合の導電率  $\sigma_1$  と、配向角度が  $90^\circ$  である場合の導電率  $\sigma_2$  とを用いて式 (1) によって計算される  $\theta = 39^\circ$  の近傍において最高のキャリア移動度が得られることが分かった。そして、この場合も、オリゴチオフエン誘導体分子の好ましい配向角度の範囲は、図 6 に示すように、式 (1) によって算出される  $\theta$  を中心として  $\pm 10^\circ$  の範囲であることが判明した。

#### 【0047】

尚、本実施の形態では、半導体層に用いる  $\pi$  共役系有機半導体分子として、五員環が 8 個又は 6 個であり、末端が各々アルキル基（例えば、 $-C_{10}H_{21}$ ）で修飾されたオリゴチオフエン誘導体を用いた場合について説明したが、本発明の効果はこのような構造を有する材料に限定されるものではない。つまり、本発明によって得られる効果は、TF T のソース電極及びドレイン電極の配設方向と、半導体層の配向方向との位置関係によって発現するものであるので、他の  $\pi$  共役系有機半導体分子を用いた場合でも、同様の効果が得られる。例えば、五員環の数が異なるポリチオフエン誘導体を用いても良いし、末端の修飾基をその他の適当な置換基に変更することも可能である。又、末端ではなく、主鎖の途中に修飾基を導入しても良い。

#### 【0048】

又、図 3 ではオリゴチオフエン誘導体分子を表す四角形が Y Z 軸で形成される平面に平行に配置されているよう模式的に示したが、分子面を表す四角形は全てが完全に X Y 軸で形成される平面に対して直立している必要は無い。つまり、 $\pi$  軌道の重なりを利用した電荷移動が可能である程度においては、多少分子面が傾いていても良いし、その傾きも同様である必要は無い。その際、本実施例で用いたオリゴチオフエン誘導体分子のように、 $\pi$  電子雲の存在方向を示すベクトル方向が一方に統一されていないものは、その傾きの許容範囲が広がるので、本発明に係る TF T の作製が容易になるという効果が得られる。

#### 【0049】

##### （実施の形態 2）

本発明の実施の形態 2 では、TF T の半導体層を構成する  $\pi$  共役系有機半導体分子として、ペンタセンを用いる場合について説明する。

#### 【0050】

本実施の形態では、図 1 (b) に示す構成を有する TF T 100 を採用した。尚、本発明の効果は、半導体層の配向方向を基板平面に対して適当な角度の向きに制御することによって得られるものである。従って、TF T 100 自体の構成は、図 1 (b) に示した構成に限定されるものではない。

#### 【0051】

図 1 (b) に示すように、ボトムゲート方式が採用された TF T 100 は、基板 11 と、ゲート電極 12 と、ゲート絶縁層 13 と、ソース電極 15 と、ドレイン電極 16 と、 $\pi$  共役系有機半導体分子からなる半導体層 14 とを有している。具体的には、基板 11 の主面上にゲート電極 12 が設けられており、このゲート電極 12 と基板 11 との露出した表面を覆うようにして、ゲート絶縁層 13 が設けられている。このゲート絶縁層 13 上に、ソース電極 15 及びドレイン電極 16 が、平面視においてゲート電極 12 の両側に位置するように設けられている。そして、このソース電極 5 及びドレイン電極 6 とゲート絶縁層 13 の露出する表面とを覆うようにして、半導体層 14 が設けられている。このように、図 1 (b) に示すボトムゲート方式が採用された TF T 100 は、基板 11 上にゲート電

極 12、ゲート絶縁層 13、ソース電極 15 及びドレーン電極 16、及び半導体層 14 が順次積層された構成を有している。

#### 【0052】

上記構成を有する TFT100 を製造する場合、先ず、ゲート電極 12 を形成するために、基板 11 上に所定の電極材料を真空蒸着法にて成膜した後にパターニングする。これによって、基板 11 上の所定の位置には、所定の形状のゲート電極 12 が形成される。次に、ゲート絶縁層 13 を形成するために、所定の絶縁材料をスピンコーティング法にて塗布した後に十分に乾燥させる。次いで、ソース電極 15 及びドレーン電極 16 を形成するために、所定の電極材料を真空蒸着法にて成膜した後にパターニングする。これにより、ゲート絶縁層 13 上には所定の形状を有するソース電極 15 及びドレーン電極 16 が形成される。最後に、半導体層 14 を形成するために、 $\pi$  共役系有機半導体分子を真空蒸着法にて成膜した後にパターニングする。この時、前記  $\pi$  共役系有機半導体分子の分子軸と基板 11 の平面とのなす角については、成膜条件を調整することによって制御した。又、平面方向における  $\pi$  共役系有機半導体分子の重なりについては、通常の成膜ではグレイン毎にはその重なる方向が揃うが、層全体としてはグレイン毎にランダムな方向になってしまうため、実際には  $\pi$  共役系有機半導体分子を成膜する前に下地となるゲート絶縁層 13 上に配向層を設けて、これにより層全体として一様な分子の重なりが得られるようにした。このように、TFT100 は、基板 11 上にゲート電極 12、ゲート絶縁層 13、ソース電極 15 及びドレーン電極 16、及び半導体層 14 の各々が真空蒸着法又はスピンコーティング法によって成膜及びパターニングされることによって形成される。

#### 【0053】

##### (実施例 2)

本実施例における TFT100 では、基板 11 を構成する材料としてポリエチレン系のプラスチック基板を用いた。又、ゲート電極 12 を構成する材料としては、金（以下、Au）を用いた。又、ゲート絶縁層 13 を構成する材料としては、ポリビニルフェノールを用いた。又、ソース電極 15 及びドレーン電極 16 を構成する材料としては、Au を用いた。そして、半導体層 14 を構成する材料としては、 $\pi$  共役系有機半導体分子の内の 1 つであるペンタセンを用いた。

#### 【0054】

先ず、半導体層 14 に用いる  $\pi$  共役系有機半導体分子であるペンタセンについて詳細に説明する。

#### 【0055】

図 7 は、半導体層 14 に用いる  $\pi$  共役系有機半導体分子であるペンタセンの構造を示す図である。ここで、図 7 (a) はペンタセンの化学構造式を示し、図 7 (b) はペンタセンにおける  $\sigma$  結合及び  $\pi$  電子雲の様子を示し、図 7 (c) はペンタセンを模式的に示す斜視図である。

#### 【0056】

図 7 (a) に示すように、ペンタセンの主鎖においては、複数の二重結合を有する六員環が繰り返し結合して構成される  $\pi$  共役系が発達している。尚、図 7 (a) では、水素原子は明示していない。この時、分子軌道法等の手段を用いて電子状態を計算すると、二重結合の内の  $\pi$  結合に利用される  $\pi$  電子の電子雲の存在範囲を求めることができる。即ち、図 7 (b) に示すように、このペンタセンでは、炭素原子 71 で構成される各六員環面に対して垂直方向に  $\pi$  電子雲 73 が存在している。尚、このペンタセンでは、各六員環同士は同一平面内に存在するので、 $\pi$  電子雲 73 の存在方向を示すベクトルは、図 7 (c) に示す四角形平面に垂直な方向に統一されている。

#### 【0057】

次に、本発明を特徴付けるペンタセンの配向角度に関する検討方法と、その検討結果について説明する。尚、以降の説明では、ペンタセンの 1 分子を図 7 (c) に示すように短冊状の四角形で表すこととする。

#### 【0058】

図8は、前述した製造方法によって得られた半導体層48におけるペンタセン48aの配向状態を模式的に示す斜視図である。ここで、図8においては、XY軸によって形成される平面は半導体層48の主面と平行な平面を表しており、Z軸方向は半導体層48の厚み方向を示している。

【0059】

図8において、ペンタセン48aは、その主鎖の分子軸がXY軸で形成される平面に対して $\alpha^\circ$ のなす角をもって配向されており、かつ、各々の分子面を表す四角形がX軸に平行な方向において、隣り合う分子同士の $\pi$ 軌道が対向するように構成されている。尚、このように形成された半導体層48に対して、ソース電極及びドレイン電極は、何れのなす角 $\alpha^\circ$ のペンタセン48aについても、X軸方向がチャネル方向となるよう形成される。

【0060】

以上のようにして準備された各々の測定サンプルについて、ゲート電極に種々のゲート電圧を印加した場合のI-V特性を測定することによって、TF T100のキャリア移動度を求めた。又、なす角 $\alpha^\circ$ が $0^\circ$ である場合のソース電極とドレイン電極との間の導電率（即ち、 $\pi$ 共役系有機半導体分子の主鎖の分子軸に代表される方向の導電率 $\sigma_1$ に相当）と、なす角 $\alpha^\circ$ が $90^\circ$ である場合の導電率（即ち、配向方向と垂直方向で、かつ $\pi$ 電子雲存在方向の導電率 $\sigma_2$ に相当；実際には完全に $90^\circ$ 配向の物が得られていないが、最も $90^\circ$ に近いもので代表させた）とを求め、これらの導電率の値を前述の(1)式に代入することによって $\theta$ を算出した。

【0061】

$$\theta = \arctan(\sigma_2 / \sigma_1) \quad \dots (1)$$

図9は、種々のゲート電圧を印加した場合におけるペンタセンの配向角度を変化させた際のキャリア移動度の変化を測定した結果を表すグラフである。ここで、図9(a)はゲート電圧が20Vである場合の測定結果を示し、図9(b)はゲート電圧が40Vである場合の測定結果を示している。尚、図9における横軸と縦軸とについても、図5の場合と同様である。

【0062】

図9(a)に示すように、ゲート電圧が20Vである場合には、導電率 $\sigma_1$ は $1.9 \times 10^{-3} \text{ S/m}$ であり、導電率 $\sigma_2$ は $1.3 \times 10^{-2} \text{ S/m}$ であった。又、キャリア移動度については、ペンタセンの配向角度が $0^\circ$ で最も低い移動度となったが、 $0^\circ$ より大きくなるに従って次第に向上し、前記式(1)で求められる $\theta = 81^\circ$ 近傍でピークとなった後、徐々に低下することが分かった。

【0063】

又、図9(b)に示すように、ゲート電圧が40Vである場合には、導電率 $\sigma_1$ は $3.2 \times 10^{-3} \text{ S/m}$ であり、導電率 $\sigma_2$ は $6.3 \times 10^{-2} \text{ S/m}$ であった。又、キャリア移動度については、ペンタセンの配向角度が $0^\circ$ で最も低い移動度となったが、 $0^\circ$ より大きくなるに従って次第に向上し、前記式(1)で求められる $\theta = 87^\circ$ 近傍でピークとなった後、徐々に低下することが分かった。

【0064】

このように、半導体層48のキャリア移動度は、ペンタセンの配向角度を $0^\circ$ より大きくするに従って、配向角度が $0^\circ$ である場合（即ち、ペンタセンの分子軸が基板平面と平行に配向しており、 $\pi$ 共役系有機半導体分子がソース電極からドレイン電極へ方向において隣り合う分子同士の $\pi$ 軌道が対向するように形成されていない場合）に比べて改善することが分かった。又、図9(a)及び図9(b)において斜線で示した領域におけるキャリア移動度は、ペンタセンの配向角度が $90^\circ$ 近傍である場合、即ち、ペンタセンの分子軸が基板平面に直立しており、 $\pi$ 共役系有機半導体分子の主鎖の分子軸がソース電極とドレイン電極との対向する辺の垂線に対して垂直である場合に比べて改善していることが分かった。更に、最高のキャリア移動度が得られる配向角度は、配向角度が $0^\circ$ である場合の導電率 $\sigma_1$ と、配向角度が $90^\circ$ である場合の導電率 $\sigma_2$ とを用いて式(1)によって計算される $\theta$ の近傍であることが分かった。そして、ペンタセンの好ましい配向角度の

範囲について更に調査した結果、図9(a)及び図9(b)に示すように、式(1)によって算出される $\theta$ を中心として $\pm 5^\circ$ の範囲(但し、 $90^\circ$ を超える部分を除く)が最も好適であることが判明した。

#### 【0065】

尚、本実施の形態では、半導体層に用いる $\pi$ 共役系有機半導体分子としてペンタセンを用いた場合について説明したが、本発明の効果はこの材料に限定されるものではない。即ち、本発明の効果は、半導体層を構成する $\pi$ 共役系有機半導体分子の分子軸の配向方向と基板平面との位置関係によって発現するものであるので、その他の $\pi$ 共役系有機半導体分子を用いた場合でも同様の効果が得られる。例えば、六員環の数が異なるテトラセン等のその他のオリゴアセンを用いても良いし、それらの構造の一部を置換したり、又は化学修飾したりしたオリゴアセン系の誘導体を用いても良い。

#### 【0066】

又、実施の形態1ではチオフェン系ポリマーの誘導体を用いた場合を、実施の形態2ではアセン系ポリマーの誘導体を用いた場合を例として説明したが、本発明の効果はこれらの材料に限定されるものではなく、アセチレン系、ピロール系、又はフェニレン系のポリマーの誘導体を用いても、本発明の主旨に沿って配向方向が制御されて成膜される限りにおいては同様の効果が得られる。又、前記材料の何れかを組み合わせたコポリマーの誘導体を用いた場合も、本発明の効果と同様の効果が得られる。又、これらの中から材料を選択する際、実施の形態2で説明したペンタセンのように結晶質の材料を選択すると、非晶質の材料を用いる場合と比べてより一層高いキャリア移動度を得ることが可能になる。

#### 【0067】

又、本実施の形態1, 2では、ソース電極、ドレイン電極、ゲート電極の各々の電極材料として有機材料であるPEDOTを主成分とする材料、若しくはAuを用いたが、その他の導電性高分子材料を用いることも可能であり、又、ITO, Cu等の無機材料を用いることも可能である。但し、機械的柔軟性、耐衝撃性のあるTFTを構成するためには弾性のある材料を選択するか、若しくは曲げの影響を受けにくい電極構成を選択することが好ましい。又、ゲート絶縁層や基板も実施の形態1, 2で用いた材料に限定はされないが、電極と同様に弾性のある材料を選択するか、若しくは曲げの影響を受けにくい材料を用いることが好ましい。

#### 【0068】

又、本実施の形態1では、オリゴチオフェン誘導体分子を所定の方向に配向させる方法として、基板に溝を設けてその上に溶媒に分散させたオリゴチオフェン誘導体分子を塗布し乾燥させるという方法を、又、実施の形態2では、ペンタセンを所定の方向に配向させる方法として、下地となるゲート絶縁層上に配向層を設けて所定の条件で真空蒸着して成膜する方法を各々用いたが、本発明の効果は前述の通り半導体層の配向方向とソース電極・ドレイン電極、或いは基板平面との位置関係によって発現するものであるので、その配向方法が何であるかは問題でない。例えば、背景技術として説明したLB法、延伸法、又は、基板上にポリテトラフルオロエチレンを一定圧力で押し付けスライドさせて配向形成し、その上に有機半導体を接触させる方法や、 $\pi$ 共役系オリゴマー分子を、ホット・ウォール・エピタキシー法を用いる方法等を用いて配向成膜しても同様の効果が得られる。又、 $\pi$ 共役系有機半導体分子の側鎖に液晶性の置換基を化学修飾し、その置換基の効果を利用することによって配向制御する方法を用いても良い。

#### 【0069】

更に、本実施の形態1, 2で用いた材料について、各々のゲート電圧において最適と思われる配向角度を $\theta$ として示したが、これらは材料によって一意的に決まるものではない。つまり、導電率 $\sigma_1$ 、及び $\sigma_2$ は同一材料であってもその成膜状態、又はTFTの構成等によって変わり得る。しかしながら、本発明の主旨に従って配向角度を決定することにより、実際に使われる状態において、最もキャリア移動度が高くなるTFTを構成することが可能となる。

#### 【0070】



### (実施の形態 3)

本発明の実施の形態 3 では、実施の形態 1, 2 で説明した T F T を用いたアプリケーション例として、シートライクなフレキシブルディスプレイと無線 I D タグとについて説明する。

#### 【0071】

先ず、シートライクなフレキシブルディスプレイとして有機 E L を表示部に用いたアクティブマトリクス型ディスプレイの構成例について説明する。

#### 【0072】

図 10 は、本実施の形態に係る有機 E L を表示部に用いたアクティブマトリクス型ディスプレイの構成を模式的に示す斜視図である。

#### 【0073】

図 10 に示すように、本実施の形態に係るアクティブマトリクス型ディスプレイは、プラスチック基板 101 上に画素電極に接続された T F T 駆動回路 110 がアレイ状に配置されており、その T F T 駆動回路 110 の上に有機 E L 層 102 と保護フィルム 104 とが配設されている。尚、有機 E L 層 102 の上面には、透明電極 103 が設けられる。ここで、有機 E L 層 102 は、電子輸送層、発光層、正孔輸送層等の各層が積層され構成されている。そして、各々の T F T の所定の電極から延長されたソース電極線 105 とゲート電極線 106 とは、各々ここでは図示しない制御回路へ接続されている。ここで、T F T 駆動回路部 110 の拡大図を図 11 に示す。尚、T F T 自体の積層構成は、基本的に実施の形態 1 で示した積層構造と同様である。つまり、図 11 に示す T F T は、半導体層 114 と、ソース電極 115 及びドレーン電極 116 と、ゲート絶縁層 113 と、ゲート電極 112 とが積層されてなる。そして、図 11 に示すように、ドレーン電極 116 は有機 E L の画素電極 117 に電氣的に接続されている。又、ゲート電極 112 が接続されたゲート電極線 106 と、ソース電極 115 が接続されたソース電極線 105 とが交差する部分には、絶縁層 118 が配設されている。

#### 【0074】

このように、実施の形態 1, 2 で説明した T F T を用いてアクティブマトリクス型のディスプレイを構成することにより、T F T 部分を低コストプロセスで作製できるため、ディスプレイ全体としても安価で、かつ機械的柔軟性及び耐衝撃性に優れたシートライクなディスプレイを実現することができる。又、表示速度（反応速度）の速いアクティブマトリクス型のディスプレイを提供することが可能になる。

#### 【0075】

尚、本実施の形態では、表示部に有機 E L を用いた場合について説明したが、本発明の効果はこの構成を有するアクティブマトリクス型のディスプレイに限定されるものではない。つまり、T F T 回路を必要とするアクティブマトリクス型のディスプレイであれば、その効果は同様に発揮される。

#### 【0076】

又、画素を駆動する駆動回路部の構成は、本実施の形態で示した構成に限定されるものではない。つまり、例えば、1つの画素を駆動するために電流駆動用の T F T とそれを制御するためのスイッチング用 T F T とを組み合わせた構成としても良い。又、更に複数の T F T を組み合わせた回路構成とすることも可能である。

#### 【0077】

次に、本発明に係る T F T を無線 I D タグに応用した場合について説明する。

#### 【0078】

図 12 は、本実施の形態に係る T F T を用いた無線 I D タグの構成を模式的に示した斜視図である。

#### 【0079】

図 12 に示すように、無線 I D タグ 120 は、フィルム状のプラスチック基板 121 を基材として使用している。この基板 121 上には、アンテナ部 122 とメモリー I C 部 123 とが設けられている。ここで、メモリー I C 部 123 は、実施の形態 1, 2 におい

で説明したTF Tを利用して構成することが可能である。そして、この無線IDタグ120は、裏面に粘着効果を持たせることで、菓子袋やドリンク缶のような平坦でないものにも貼り付けて使用することが可能である。尚、無線IDタグ120の表面には、必要に応じて保護膜が設けられる。

#### 【0080】

このように、実施の形態1, 2で説明したTF Tを用いて無線IDタグを構成することにより、様々な形状、又は素材へ貼り付けることが可能な無線IDタグを具現化することが可能になる。又、反応速度（処理速度）の速い無線IDタグを提供することが可能になる。

#### 【0081】

尚、本発明の効果は、図12に示した無線IDタグの構成に限定され得られるものではない。従って、アンテナ部、メモリーIC部の配置や構成方法は、任意に設定可能である。又、例えば、論理回路部を無線IDタグに組み込むことも可能である。

#### 【0082】

又、本実施の形態では、プラスチック基板121上に予めアンテナ部122とメモリーIC部123とを形成しておく形態について説明したが、本発明はこの形態に限定されるものではなく、インクジェット印刷のような方法を用いて、直接対象物に無線IDタグを形成することも可能である。そして、その際も、本発明に係るTF Tの構成を用いることにより、機械的柔軟性、耐衝撃性に優れた高性能な無線IDタグを低コストで作製することが可能になる。

#### 【0083】

又、実施の形態1, 2では、図1(b)及び図1(c)の構成のTF Tに本発明を適用したが、図1(a)及び図1(d)の構成のTF Tにも本発明を同様に適用することが可能である。ここで、図1(a)は、基板11上にゲート電極12、ゲート絶縁層13、及び半導体層14が積層され、この半導体層14の上にソース電極15及びドレイン電極16が積層され構成されている。又、図1(d)は、基板11上にソース電極15及びドレイン電極16、半導体層14、及びゲート絶縁層13が積層され、このゲート絶縁層13の上にゲート電極12が積層され構成されている。

#### 【0084】

又、実施の形態1, 2では、ソース電極及びドレイン電極が矩形状を有する場合を説明したが、平面視においてソース電極とドレイン電極とが相互に対向する辺を有するように形成されていれば、本発明を好適に適用することができる。又、ソース電極及びドレイン電極が任意の形状を有する場合にも、方向 $\pi$ 共役系有機半導体の主鎖の分子軸が半導体層に形成されるチャンネルにおける電界の方向に対し傾斜して配向させることにより、本発明を適用することができる。

#### 【0085】

又、実施の形態1, 2では、平面視において相互に対向する辺を有するように分離して設けられたソース電極とドレイン電極とを有する薄膜トランジスタの構成について示したが、この構成以外に、例えば、厚み方向において相互に対向する辺を有するように分離して設けられたソース電極とドレイン電極とを有する構成において、 $\pi$ 共役系有機半導体分子が、 $\pi$ 軌道が実質的に対向するように配向され、かつ主鎖の分子軸が前記対向する辺に垂直な方向に対して傾斜して配向されてなる構成としてもよい。かかる構成としても、実施の形態1, 2と同様の効果が得られる。

#### 【産業上の利用可能性】

#### 【0086】

本発明に係るTF T及びその製造方法は、 $\pi$ 共役系有機半導体分子を所定の方向に配向形成して構成したキャリア移動度が改善されたTF Tと、そのTF Tの製造方法として有用である。又、本発明に係るTF Tは、シートライク又はペーパーライクなアクティブマトリクス型のディスプレイや、無線IDタグ等を製造するために有用である。

#### 【図面の簡単な説明】

## 【0087】

【図1】TF Tの代表的な構成の各々を模式的に示す断面図である。

【図2】半導体層に用いる $\pi$ 共役系有機半導体分子であるオリゴチオフエン誘導体分子の構造を示す図であり、(a)は化学構造式を示し、(b)は $\sigma$ 結合及び $\pi$ 電子雲の様子を示し、(c)は分子を模式的に示す斜視図である。

【図3】半導体層におけるオリゴチオフエン誘導体分子の配向状態を模式的に示す斜視図である。

【図4】TF Tのキャリア移動度を測定するための測定試料の構成を示す模式図である。

【図5】種々のゲート電圧を印加した場合におけるオリゴチオフエン誘導体分子の配向角度を変化させた際のキャリア移動度の変化を測定した結果を表すグラフであり、

(a)はゲート電圧が20Vである場合の測定結果を示し、(b)はゲート電圧が30Vである場合の測定結果を示し、(c)はゲート電圧が40Vである場合の測定結果を示す。

【図6】6個の五員環を有しかつ両方の末端をアルキル基で化学修飾したオリゴチオフエン誘導体分子を用いたTF Tのキャリア移動度の変化を測定した結果を表すグラフである。

【図7】半導体層に用いる $\pi$ 共役系有機半導体分子であるペンタセンの構造を示す図であり、(a)はペンタセンの化学構造式を示し、(b)はペンタセンにおける $\sigma$ 結合及び $\pi$ 電子雲の様子を示し、(c)はペンタセンを模式的に示す斜視図である。

【図8】半導体層におけるペンタセンの配向状態を模式的に示す斜視図である。

【図9】種々のゲート電圧を印加した場合におけるペンタセンの配向角度を変化させた際のキャリア移動度の変化を測定した結果を表すグラフであり、(a)はゲート電圧が20Vである場合の測定結果を示し、(b)はゲート電圧が40Vである場合の測定結果を示す。

【図10】有機ELを表示部に用いたアクティブマトリクス型ディスプレイの構成を模式的に示す斜視図である。


【図11】TF T駆動回路部の構成を拡大して示した模式図である。

【図12】無線IDタグの構成を模式的に示した斜視図である。

## 【符号の説明】

## 【0088】

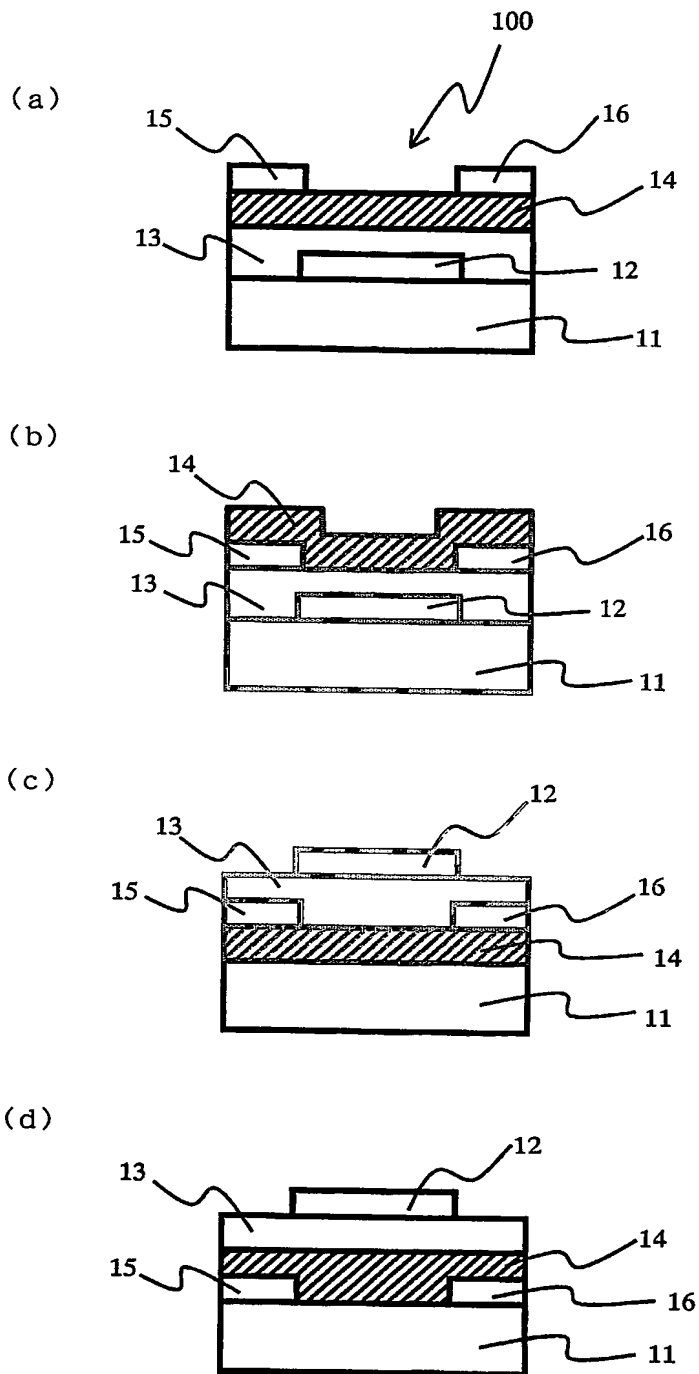
- 10 垂線
- 11 基板
- 12 ゲート電極
- 13 ゲート絶縁層
- 14 半導体層
- 15 ソース電極
- 16 ドレイン電極
- 21 炭素原子
- 22 硫黄原子
- 23  $\pi$ 電子雲
- 40 半導体層
- 40a オリゴチオフエン誘導体分子
- 41 プラスティック基板
- 42 半導体層
- 43 ソース電極
- 44 ドレイン電極
- 45 ゲート絶縁層
- 46 ゲート電極
- 47 半導体層の配向方向



48 半導体層  
48a ペンタセン  
71 炭素原子  
73  $\pi$  電子雲  
100 TFT  
101 プラスティック基板  
102 有機EL層  
103 透明電極  
104 保護フィルム  
105 ソース電極線  
106 ゲート電極線  
110 TFT 駆動回路部  
112 ゲート電極  
113 ゲート絶縁層  
114 半導体層  
115 ソース電極  
116 ドレイン電極  
117 画素電極  
118 絶縁層  
120 無線IDタグ  
121 プラスティック基板  
122 アンテナ部  
123 メモリーIC部

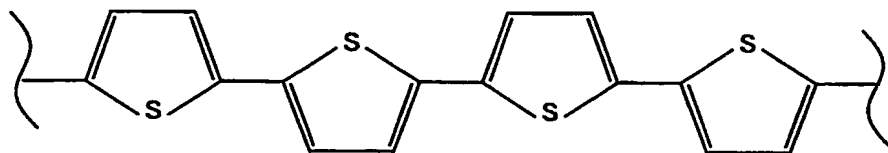
【書類名】 図面

【図 1】

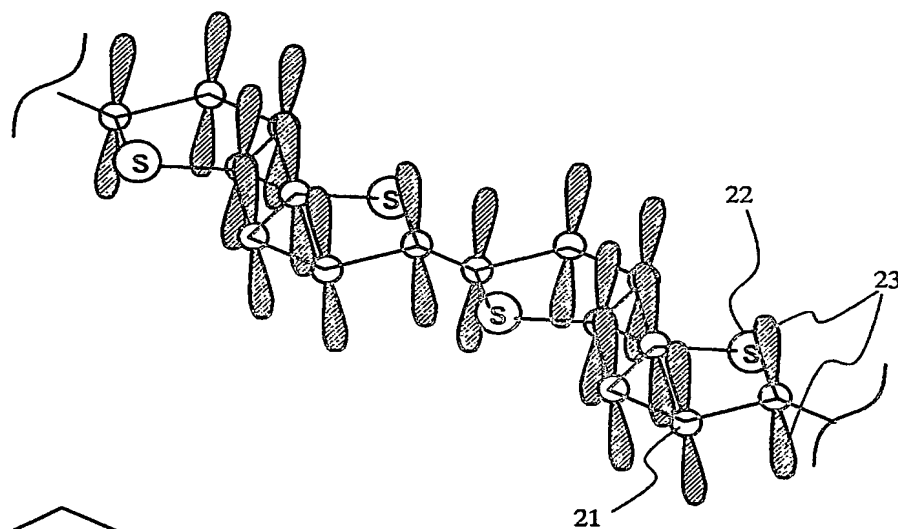


【図 2】

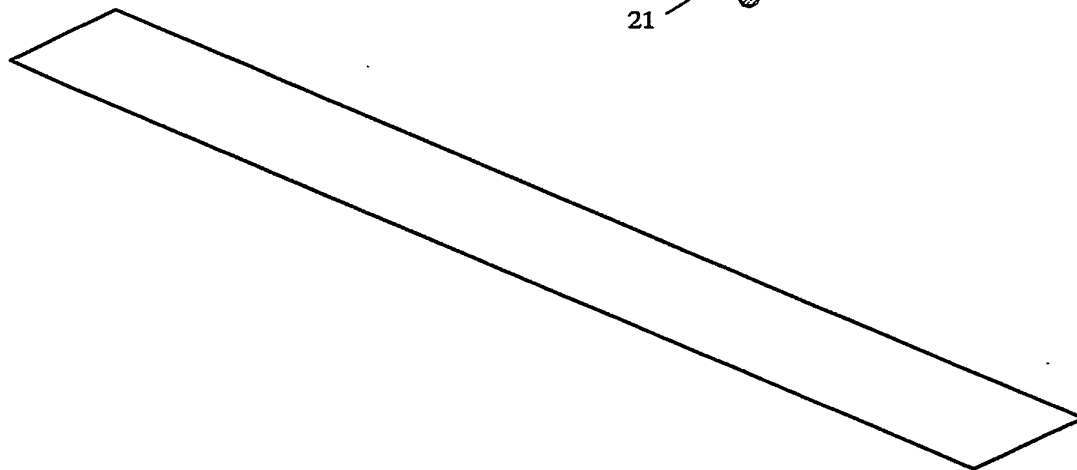
(a)



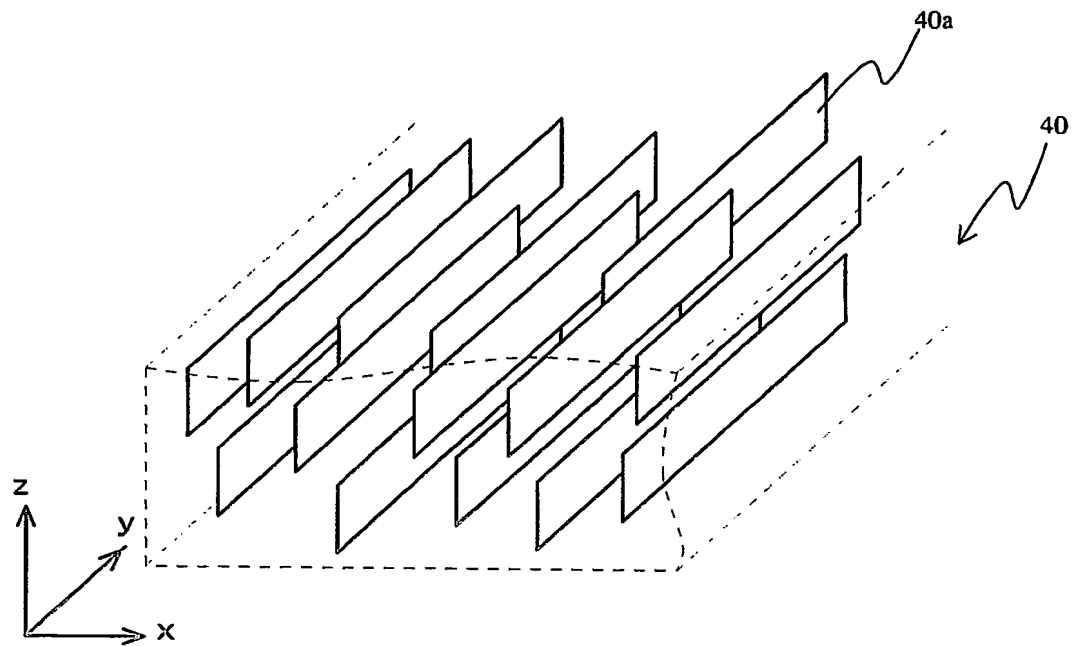
(b)



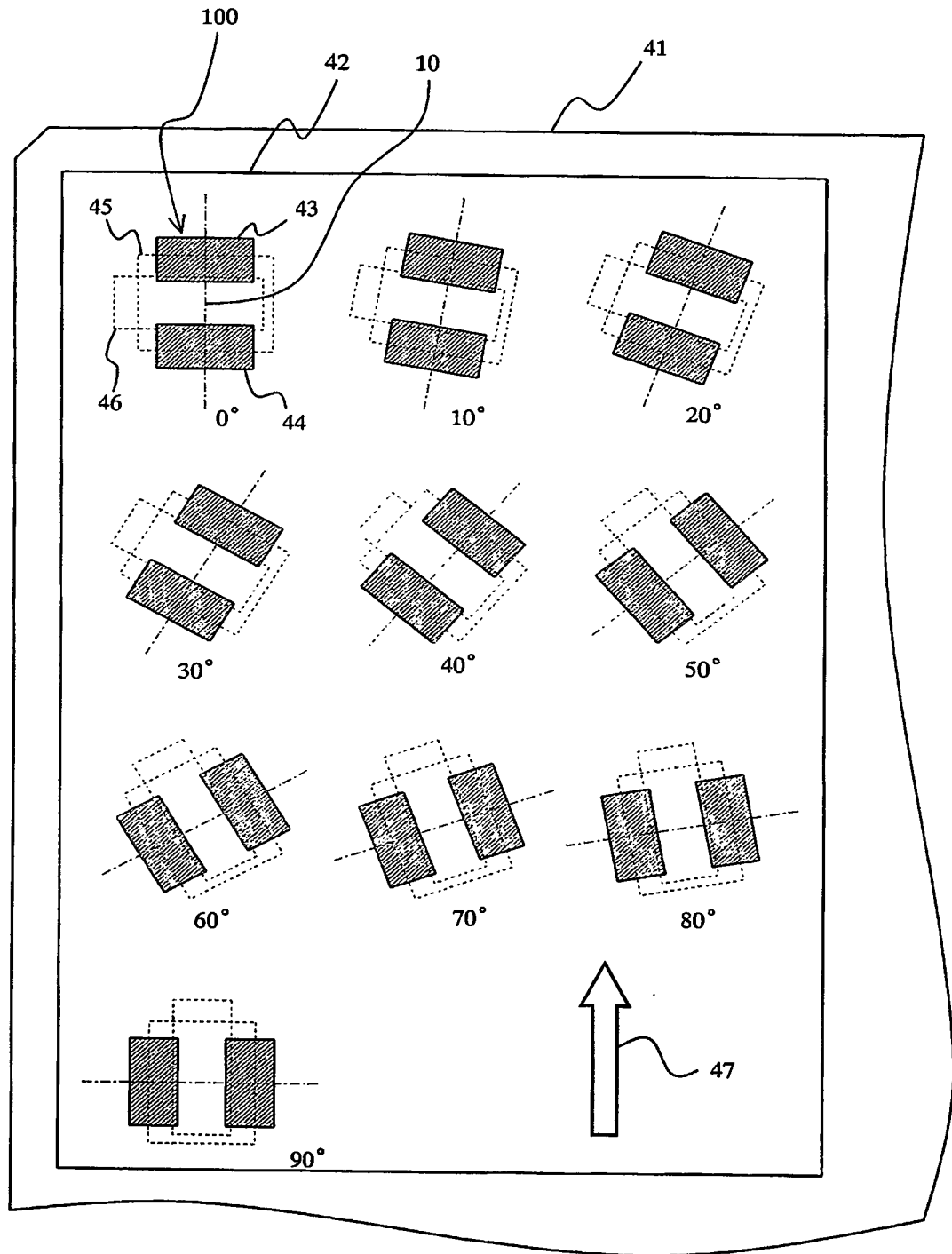
(c)



【図 3】



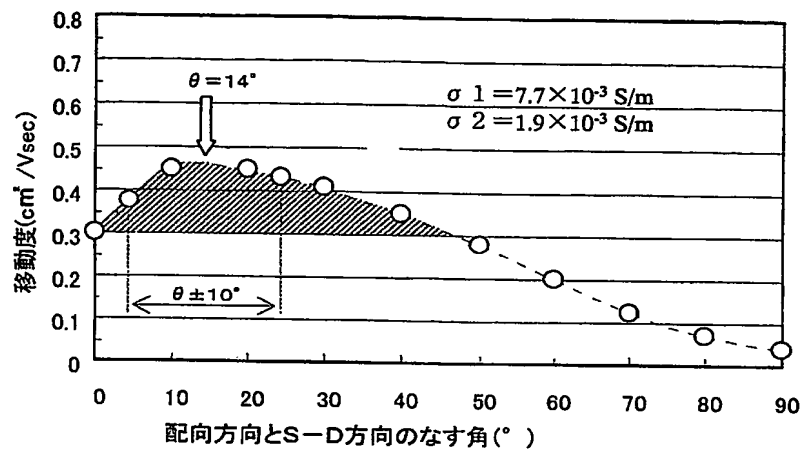
【図 4】



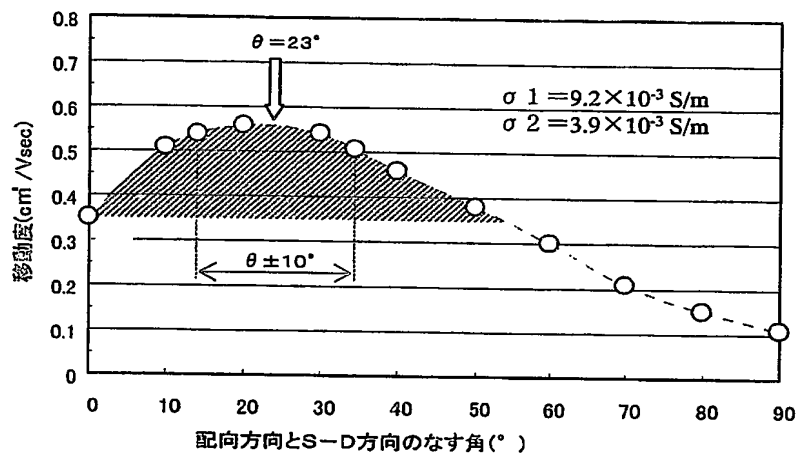


【図 5】

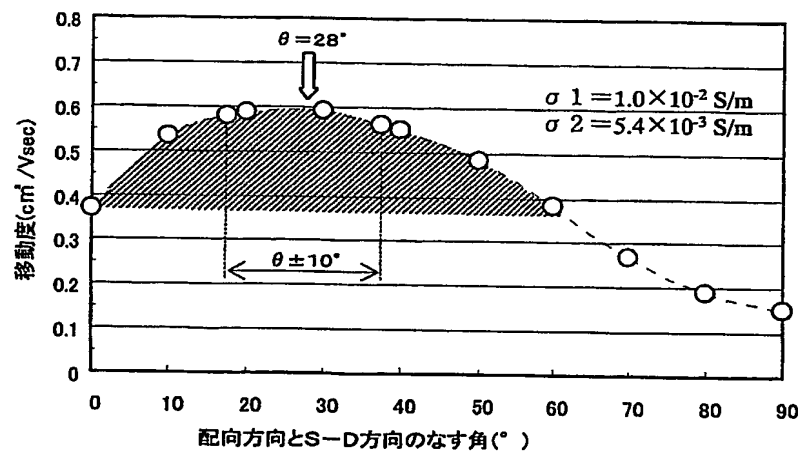
(a)



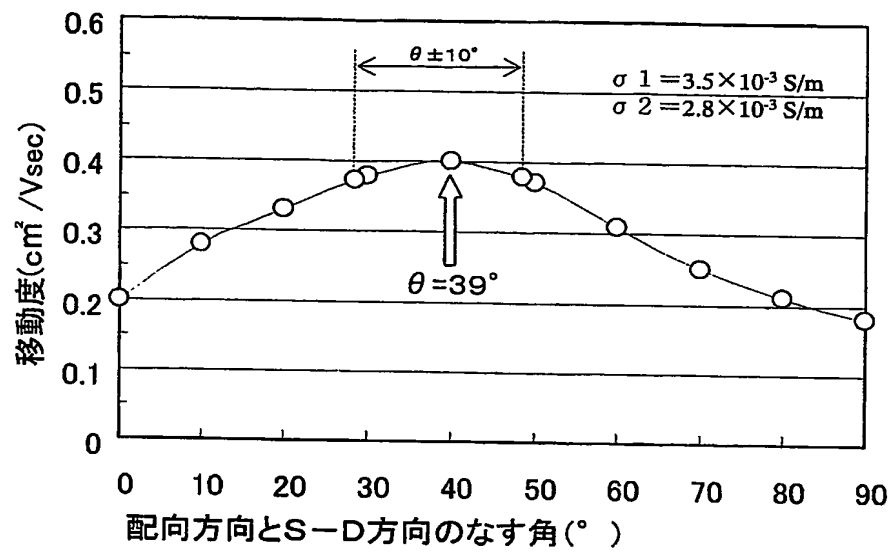
(b)



(c)

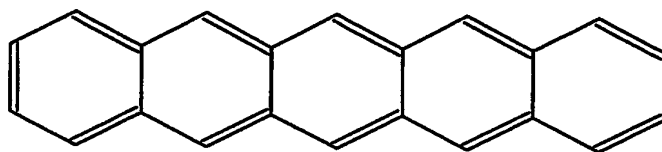


【図 6】

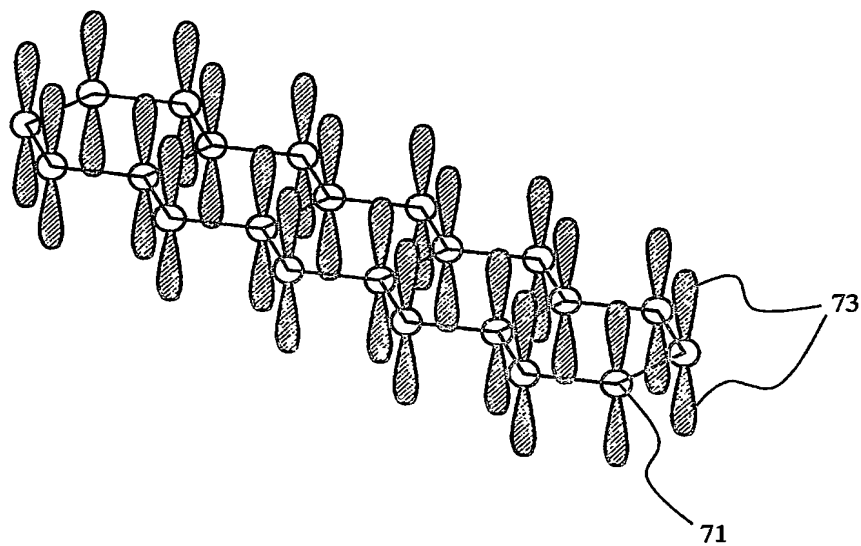


【図 7】

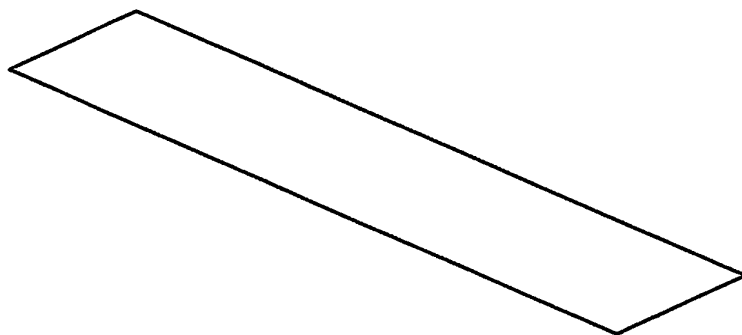
(a)



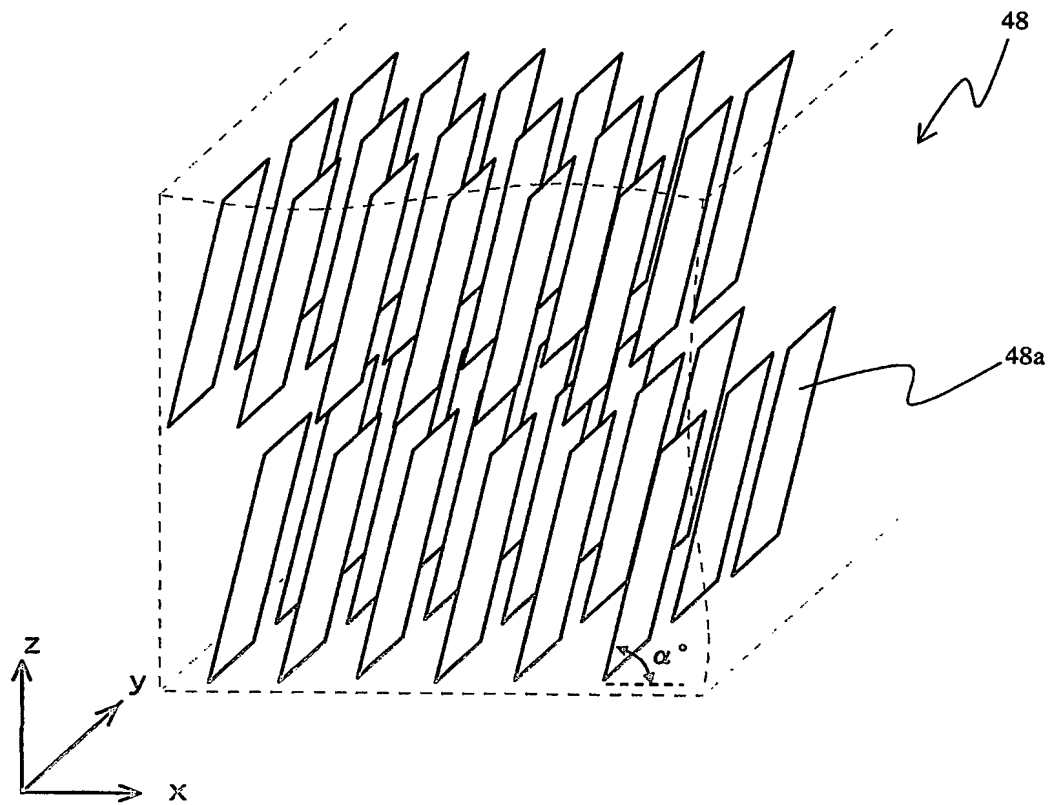
(b)



(c)

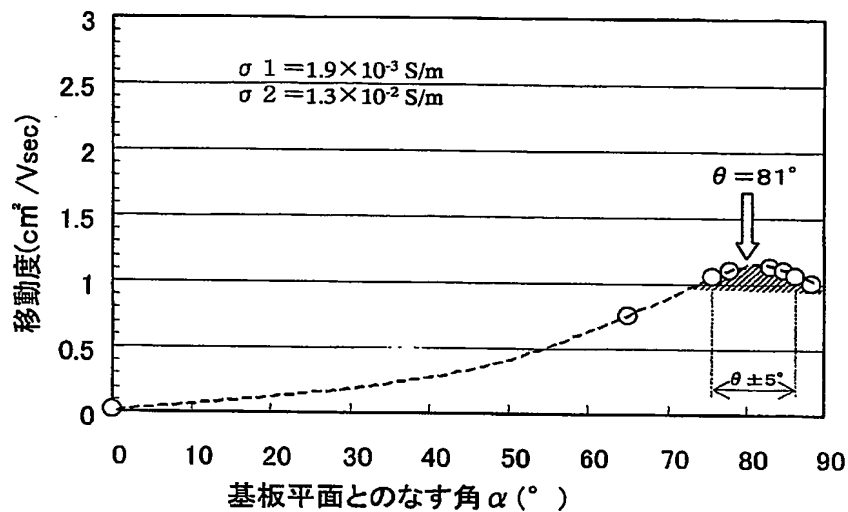


【図 8】

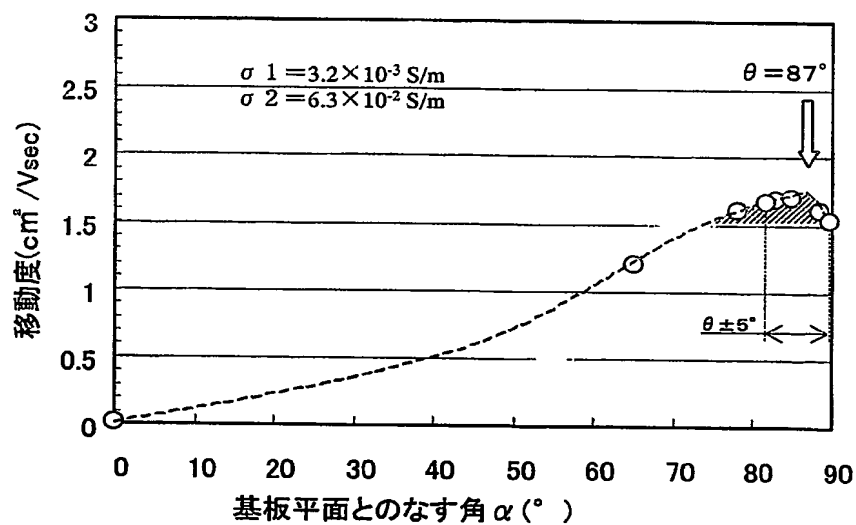


【図 9】

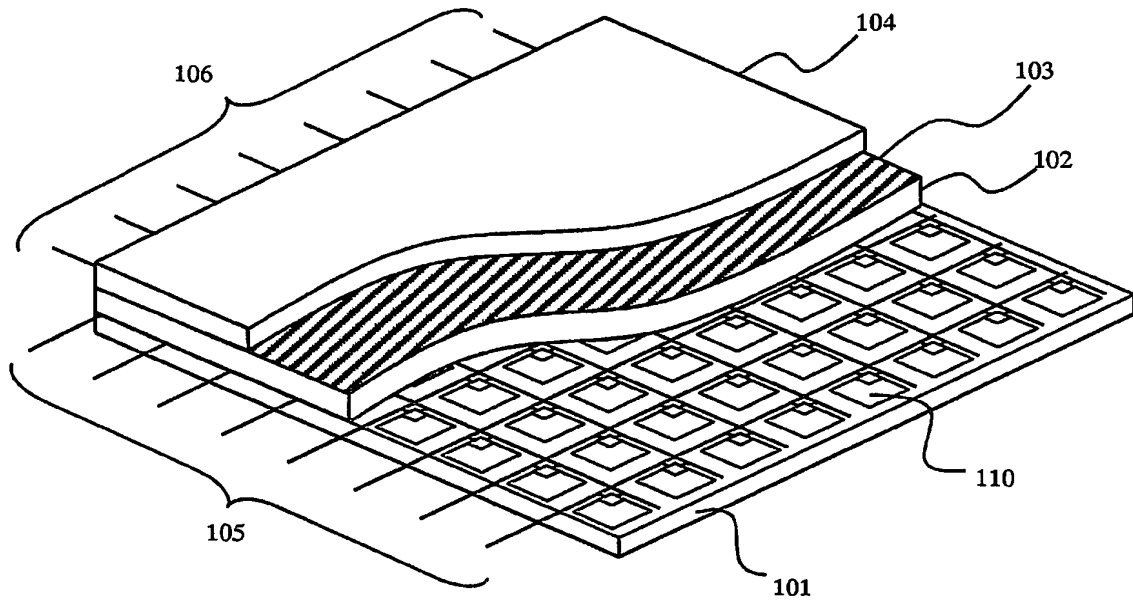
(a)



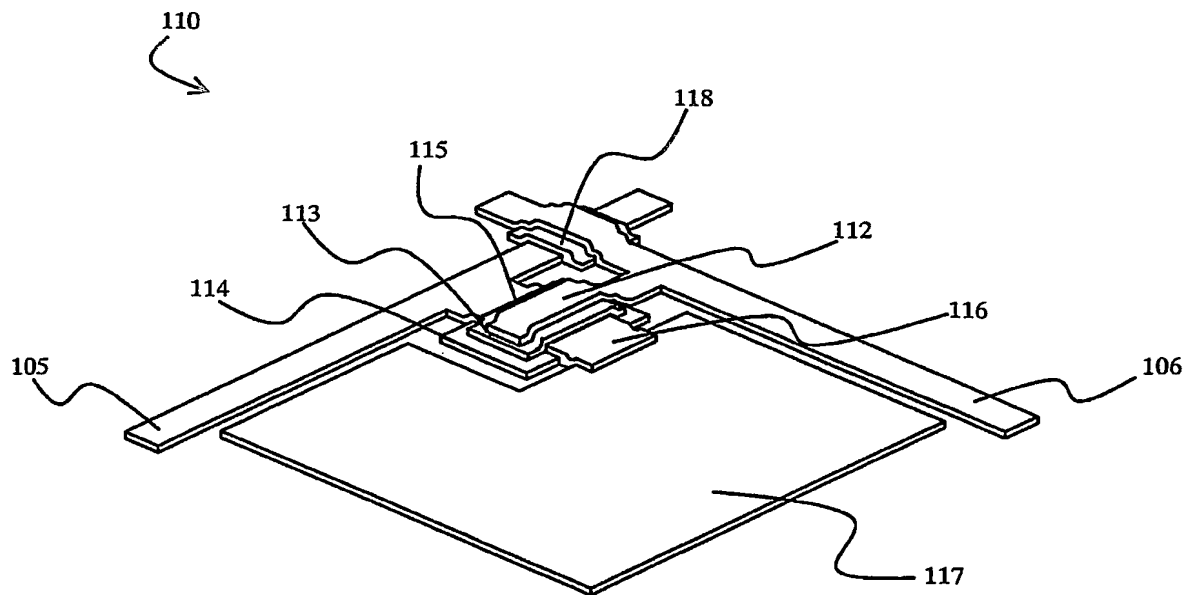
(b)



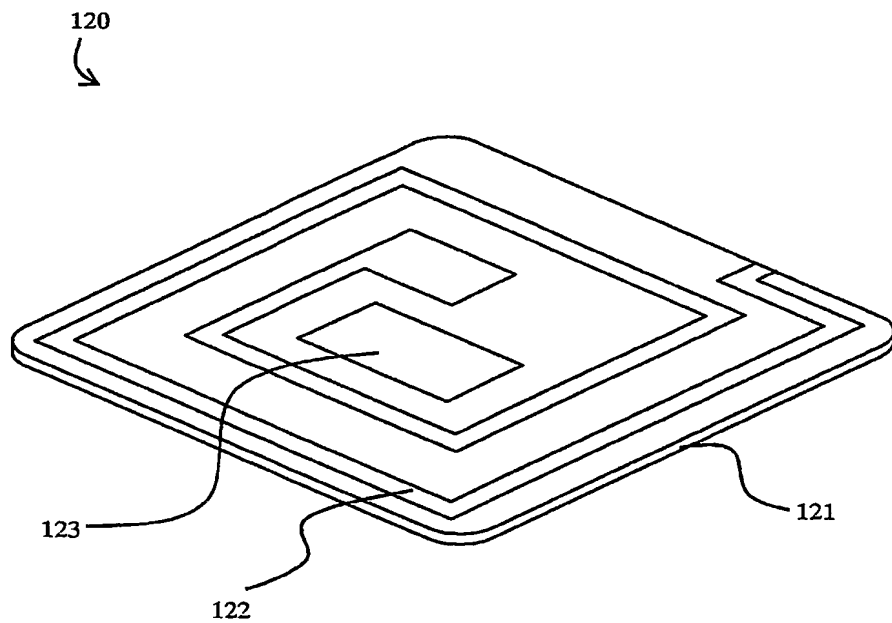
【図 10】



【図 11】



【図 12】



【書類名】 要約書

【要約】

【課題】  $\pi$  共役系有機半導体分子を所定の方向に配向形成して構成したキャリア移動度が改善された T F T と、その製造方法を提供する。

【解決手段】 半導体層 14 と、前記半導体層に相互に対向する辺を有するように分離して設けられたソース領域 15 とドレイン領域 16 とを有する薄膜トランジスタ 100 であって、前記半導体層は  $\pi$  共役系有機半導体分子を主成分として有し、前記  $\pi$  共役系有機半導体分子が、 $\pi$  軌道が実質的に対向するように配向され、かつ主鎖の分子軸が前記対向する辺に垂直な方向に対して傾斜して配向されている。

【選択図】 図 1



認定・付加情報

特許出願の番号	特願 2003-381294
受付番号	50301863408
書類名	特許願
担当官	第五担当上席 0094
作成日	平成15年11月12日

<認定情報・付加情報>

【提出日】 平成15年11月11日

特願 2 0 0 3 - 3 8 1 2 9 4

出 願 人 履 歴 情 報

識別番号 [ 0 0 0 0 0 5 8 2 1 ]

1. 変更年月日	1 9 9 0 年 8 月 2 8 日
[変更理由]	新規登録
住 所	大阪府門真市大字門真 1 0 0 6 番地
氏 名	松下電器産業株式会社